

综合信息论在储量危急矿山深边部 找矿中的应用

——以铜陵凤凰山铜矿为例^{* P5 A}

刘亮明 王志强 彭省临 杨群周 邵拥军

(中南大学地质研究所 长沙 410083)

摘 要 如何有效地对储量危急矿山的深边部的潜在隐伏矿体进行预测和勘查是现在矿山找矿勘查面临的一个难题。本文从理论上论证了综合信息论的重要意义,提出储量危急矿山深边部找矿预测的4条重要原则:以先进的成矿理论为指导,开展细致地质观测和准确的地质推断,采用先进的地球物理和地球化学技术探测间接的找矿信息和利用计算机进行高效的多元信息集成。运用这些原则在铜陵凤凰山铜矿深边部开展了综合找矿研究,其预测已被钻探和坑探验证,并首次在该区找到了优质的斑岩型铜金矿体。

关键词 储量危急矿山 找矿预测 综合信息论 铜陵凤凰山铜矿

矿山保有储量的严重不足和接替资源基地紧缺已成为阻碍我国矿业经济发展和影响我国资源供应体系稳定性的重大隐患。在新旧世纪交替之际,我国地质工作者的重要使命就是有效地解决这些储量危急矿山的接替资源问题。对于绝大多数储量危急的矿山而言,其找矿潜力并未枯竭,开展深部和周边部找矿仍是解决其接替资源的最佳途径(刘亮明等,1999)。由于大多数储量危急矿山及所在区域都经历过了长期的找矿勘查,潜在的资源主要是难识别的和深埋藏的隐伏矿床(体)。在这种情况下,找矿要取得突破已不是单纯应用某项技术或某个理论就能解决的问题,而必然是综合应用各方面信息的系统工程(刘亮明等,1999;吴传璧等,1999; Xie, 1999; Liu et al., 2001; Peng et al., 2001)。本文主要根据国内外有关的经验和成果对储量危急矿山深边部找矿预测的主要原则进行了论述,并重点介绍了铜陵凤凰山铜矿深边部找矿预测研究的主要成果。

1 综合信息对危急矿山深边部找矿预测的重要意义

找矿预测就是利用各种信息对潜在矿床(体)的位置、品质和规模等进行前瞻性分析。从其性质来说,决不是一种简单的工程问题,因为按照一定工程规范和程序来开展工作,并不一定能达到预期的目标,而必须在开展大量的科学研究,并依据科学原理推测我们无法接近或直观的各种状态和过程。因此,理论的作用在找矿预测中决不能低估。

*教育部高等学校骨干教师基金及铜陵有色金属集团公司资助。

刘亮明,男,1964年11月生,副教授,博士,构造地质和经济地质学专业。

2001年10月30日下午在长沙“活化构造与成矿学国际学术讨论会”的报告。

就其哲学思想而言,找矿预测可分为经验主义、概念主义和信息论(图1)。经验是从体验和观察得到的知识,而不论科学理论和科学原理如何;概念则是一种思想、观念或理论(Woodall,1994)。经验主义主要通过收集各种找矿标志,以已知矿床或矿区上建立起来的找矿标志模型来分析和推断预测区段的找矿前景和矿床特征,而不注重于矿床成因和地质演化过程等;概念主义主要通过研究已知矿床的成因和控制矿床形成的各种因素等,以成因模式为主要手段来分析和推断预测区段的成矿潜力并分析成矿特征。尽管在矿产勘查领域历来就存在经验论和概念论之争(事实上两者各有长短),在现代找矿勘查过程中两者的界线已变得模糊不清,其发展趋势是两者交叉和融合(Woodall,1994),这种交叉融合的结果便是综合信息找矿预测(吴传璧等,1999;Xie,1999)。综合信息找矿预测是以充分客观地收集各种找矿信息为基础,对信息的理解和把握是核心,在已形成的理论和概念的指导下分析各种信息和信息组合与矿床的关系,建立量化的多元信息综合预测模型,以此来分析和推断预测区的找矿前景和矿体特征(图1)。

对于储量危急的矿山,

要在其深部和边部找到大量符合已有的经验模型和概念模式的矿床(体)很困难的,因为在这种区域内所取得大的找矿发现都是不同于已有矿床的,如铜陵矿集区狮子山矿田内的冬瓜山矿床、湘南水口山矿田内的康家湾矿床。因此,纯粹的经验主义和概念主义都不能满足资源储量危急矿山深边部找矿预测之需要,必须以信息论为主要的哲学思想,即从科学上突破已有的矿床模式,重新审

认找矿目标,从理论上确定控制所要寻找目标矿床的成矿因素、保存因素和破坏因素,同时从技术上获取更多的有用信息,并通过集成分析使各种信息能做到最佳组合和最充分的利用,从而达到对预测目标体的最大限度的了解。

2 危急矿山深边部找矿预测的重要原则

(1)先进而正确的成矿理论是找矿取得重大突破的重要前提

任何先进的找矿技术和方法的应用都必须有先进的地质成矿理论的指导和支撑(毛景文等,1999)。成矿理论的作用主要在于:1)建立正确的找矿思路,指导找矿工作的部署,即到什么地方去寻找什么矿床;2)建立理论的成矿模式,指导找矿信息的解释。这对于已有相当高研究和勘查程度的储量危急的矿山来说显得尤为重要。

对于一个相当成熟的勘探区而言,按已有成矿理论容易找到的大矿应该早就被发现

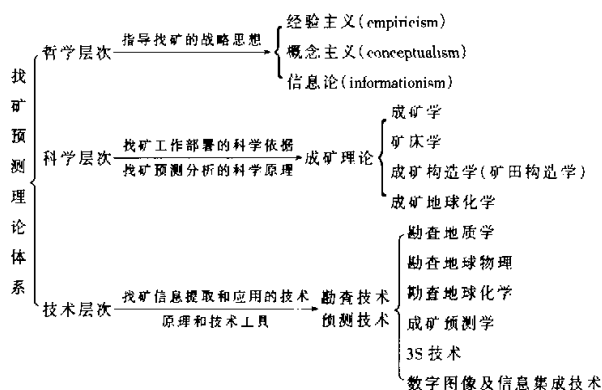


图1 找矿预测的理论分类结构图

Fig.1 Sort-structure of theories for ore prospecting and prediction

了,潜在的大规模隐伏矿床一般都是未包括在已有的经验成矿模式内的,这种经验式成矿模式和找矿模型对进一步找矿的负面作用大于正面作用,许多老矿区找矿上的重大突破是在老的模式突破以后才取得的。基于美国著名的卡林金矿带而建立的卡林型金矿成矿模式一直认为卡林型金矿床是“浅而贫的”,可美国地质工作者冲破这种模式的限制,就在卡林金矿带向深部开展找矿,结果在深部找到了波斯特—贝茨金矿床(金储量 311 t,品位 6~12 g/t)、米克尔(140 t, 21.6 g/t)、派普莱恩(115 t, 7.2 g/t)、南派普莱恩(136 t, 1.6 g/t)以及特阔伊斯里奇(155 t, 12 g/t)等人而富的隐伏矿床(地质科技动态编辑部,1996;戴自希,1998)。又如我国铜陵矿集区,原已有矿床主要是产在接触带上的夕卡岩型矿床,矿床规模都不太大,现生产矿体的赋存深度都 < 700 m,安徽省地质矿产局 321 地质队不受已有矿田和传统矿床模式的制约,大胆创新,于 20 世纪 80 年代在狮子山矿田的深部探明了大型层状夕卡岩型铜矿床,Cu 储量 $> 1 \times 10^6$ t,赋存深度 > 1 000 m。具有百年开采历史的水口山矿田内康家湾大型铅锌矿床的发现、具千年开发历史的个旧矿集区内芦塘坝大型锡铅锌银矿床的发现等也都是在突破已有成矿模式后才取得的。

(2) 细致的地质观测以及准确的地质推断仍是取得找矿突破的基础

地质观测是最原始和最基础的获取地质信息的手段,然而它却是一切成矿理论得以形成和发展的基础,也是一切地球物理和地球化学技术得以应用的基础。由于现代先进而高效的地球物理和地球化学探测技术的发展,加之地质观测的艰苦性、低效性和对观察主体的高要求,出现了一种轻视地质观测的倾向,这是不正常的。不少有识之士已经看到了这一点,原 RTZ 联合锌业公司的总地质师 C J 莫里西博士最近在致英国《矿业杂志》的信中指出,近年来一些判断上的错误将全球固体矿产勘查引入了歧途,其中一个错误就是过分依赖计算机,尤其是用计算机代替野外观测(地质科技动态编辑部,1999)。Woodall (1994)也曾指出“对于成矿过程认识的发展及全球勘查战略的形成来说,没有哪一种地质研究比细致的地表填图、矿山填图和岩心编录更具关键意义。不幸的是,许多地质学家至今尚未认识到这一点”。

因细致的地质观察和准确的地质推断而在老矿区取得找矿上的重大成就的实例很多,如美国亚利桑那州 San Manuel-Kalamazoo 斑岩铜矿的 Kalamazoo 矿段的发现。该矿床的 San Manuel 矿段埋深较浅,在 40 年代就已发现,而位于其西侧深部的规模更大的 Kalamazoo 矿段却是在 60 年代后期才被发现,虽然在此之前曾有人在该地段进行过勘探,打过 7 个钻孔,最深的达 900 m,但未找到隐伏的 Kalamazoo 矿段。Lowell(1968)在对已开采的 San Manuel 矿段的矿化蚀变特征和控矿构造特征进行详细的观察研究后,发现以 San Manuel 矿体为中心的同心环状蚀变带有一半缺损,中心的钾化带与倾向西南的 San Manuel 正断层相接。据此,他认为 San Manuel 矿段的矿体原来是一个直立的圆柱体,后因构造作用发生倾斜,然后被 San Manuel 断层切断,并随断层上盘滑移到其西侧深部。他还在一个已打的钻孔的底部发现了类似于 San Manuel 矿体边缘的蚀变现象。在此认识的基础上再进行探矿,实施钻孔全部见矿,终于找到了大埋深的 Kalamazoo 矿段。云南有色地质 308 队在个旧矿集区内进行二轮找矿时,充分利用老矿区资料丰富的优越条件。70 年代初在卡房矿田内进行找矿研究时,由于对原始编录资料中变辉绿岩的重新认识,发现了变辉绿岩型铜矿床;在东瓜林地段进行找矿勘查时,重新研究了 1963 年以前的钻孔岩心资料和

几千米的坑道地质编录,从而认识到该地段存在对成矿十分有利的花岗岩凹陷带构造,改变了过去认为该地段“矿化零星、无工业矿床产出”的认识,导致了冬瓜林矿床的发现^①。

相反,因不细致的观察和不准确的推断而与重大发现失之交臂的实例也同样很多。1991年,美国菲尔普斯道奇矿业公司在蒙大拿州西部的具有一个多世纪开发历史的 Seven-Up Pete 金矿区外围发现了特大型的麦克唐纳浅成低温热液金矿床;在此之前是西部能源公司(WECO)于1985~1988年间曾在该区租地进行过找矿勘查,施工过20多个钻孔,有一个孔只差3m就可以遇到325m厚的平均品位为2.5g/t的矿带,但因地质推断上的失误而错失了一个重大发现(地质科技动态编辑部,1996)。

(3)先进的地球化学和地球物理技术是最有力的技术保证

危急矿山找矿的主要对象是大埋深和难识别矿床(体),直接找矿信息难于获取,主要靠间接找矿信息进行预测分析。间接找矿信息弱、干扰强及其与目标体间强非线性关系等使得常规的技术往往无法有效地探测到,先进的地球物理和地球化学等技术就显得十分必要。Laznica(1997)统计了全世界140个大型矿床的发现史,采用先进技术发现的占30%、传统找矿技术发现的占24%,凭机会偶然发现的占39%,依地质填图和后续工作发现的占14.5%。但以1965~1995年时段统计,采用先进技术发现的占71%,偶然发现的占14.5%。可见,先进技术在找矿中的作用越来越大,主要原因在于地表和近地表易发现的矿床越来越少。另据施俊法等(2000)统计1970年以来全球100个大型和特大型金属矿床的发现资料,发现至少有58%的矿床是在已知矿床周围找到的,3%的矿床是偶然发现的,5%的矿床是通过评审已有资料发现的。由此可以看出危急矿山深边部存在巨大的找矿潜力,先进技术是发现这些潜在矿床的有利保障。

(4)先进的计算机及相关软件是实现预测高效性和操作简单化的必要条件

由于间接找矿信息与找矿目标之间的复杂的非线性对应关系,需要采集和分析大量的数据,才能提取有效的找矿信息,建立起找矿信息与矿床(体)之间的关系。只有先进的计算机和相关软件的广泛应用才使得这种烦杂的信息采集和集成分析得以高效的进行,同时又能使复杂研究工作的操作简单化。

3 铜陵凤凰山铜矿深边部找矿预测及其成效

3.1 地质背景

位于铜陵矿集区的凤凰山铜矿是铜陵有色金属(集团)公司的主干矿山之一,其保有储量最多只能维持5年左右。如不能尽快在凤凰山铜矿的深边部找到合适的接替资源,将会严重影响铜陵有色金属(集团)公司的效益,并使近3000人失去工作机会。在这种情况下,铜陵有色公司通过竞争选择,委托中南大学于1999年起开展凤凰山矿区深部及边部找矿预测研究。

凤凰山铜矿位于铜陵市东南约35km的新屋里盆地,盆地中心为燕山晚期的新屋里岩体,主要由花岗岩闪长岩和石英二长闪长岩组成,四周山丘主要为二叠至三叠纪的碳酸盐

^① 庄永秋,1991.依靠科技上台、老区找矿大突破,全国有色重点老矿区(田)二轮找矿研讨会专辑,7—9.

岩地层。围绕岩体边缘沿接触带产出有凤凰山、宝山陶、铁山头、仙人冲、清水浦和江家冲多个铜矿,其中只有凤凰山矿床达到了中型规模,其余都为小型。

凤凰山矿区出露的地层主要为三叠系条带状灰岩和白云质灰岩,靠近岩体者都已变成大理岩。岩浆岩很发育,主要为新屋里复式岩体,由燕山晚期花岗闪长岩、石英二长闪长岩及花岗闪长斑岩等组成,此外,还有一些更晚期的正长斑岩、花岗斑岩及辉绿岩脉等。新屋里岩体在平面上呈近圆形侵位于轴向为 NE 向的新屋里复式向斜的核部。矿区断裂构造比较复杂,主要为 NE 向的逆冲断层,其次为一些更晚期的 NW 向、NNW 向和近 EW 向的规模更小的断层。矿体主要呈似“板状”产于新屋里岩体与三叠系灰岩间的接触带上,为夕卡岩型。矿体走向由北向南由 NE 向转为近 SN 向再转至 NW 向,在平面上呈现弧形,剖面上陡倾斜,主要倾向东。主矿体长一般为 300~1 000 m,厚为 10~80 m,斜深 200~600 m。主要矿体都受接触带控制,其厚度和品位都与接触带的产状有密切关系,一般岩体超覆在灰岩之上时,接触带上容易成矿,且矿体大而富。

3.2 找矿预测策略

凤凰山铜矿的找矿研究面临诸多不利因素,包括:1)经多年勘探和生产,矿山拥有勘探权的范围内找到地表矿(包括地表有铁帽露头的矿体)和浅埋深隐伏矿可能性已不存在;2)现采矿区范内,勘探工程已控制了相当的深度和网度,漏掉的只可能是一些小的和埋深极大的矿体;3)在现采矿区外,根据已做的成矿预测方面的研究成果,曾打过不少于 6 个的钻孔,最深的到 860 m,但都未打到任何有意义的工业矿体;4)无法获得前人在开展地球物理、地球化学测量和钻探所得之成果;5)经费十分有限,不可能开展大面积的工作。

针对这种形势,我们采取了以下策略。

(1)以综合信息论作为找矿预测研究的哲学思想,力求以快速的低成本的多学科综合信息对该区的潜在资源作出可靠的预测评价。

(2)根据活化构造及成矿理论体系(Chen,1982;陈国达,1996),我们认为凤凰山矿田的铜矿床并不是简单的夕卡岩矿床,具有多因复成性,矿床的形成和定位既受前印支期形成的东西和南北向的基底构造的控制,也受印支期和后印支期形成的北东和北西向的盖层构造的控制,潜在的找矿对象除符合已有矿床模式的受主接触带上的夕卡岩型矿体外,更主要的应该是岩体内部受断裂构造和晚期小斑岩体控制的斑岩型铜矿体。

(3)根据上述对成矿模式和控矿因素的认识,我们选择了现凤凰山铜矿矿区外围的一片(800×900)m²区域作为本次找矿预测研究的重点工作区。虽然这一地段不符合凤凰山矿床已有的矿床模式,但岩体内发育有灰岩捕虏体和晚期的斑岩体,具有形成与受捕虏体相关夕卡岩型铜矿床和斑岩型铜矿床的成矿条件:位于石英二长闪长岩和花岗闪长岩组成的复式岩体的边部,岩体内出露有数个夕卡岩化露头,局部有较强钾长石化和黄铁绢英岩化。

(4)地质找矿信息的获取侧重于岩体的岩性和结构、热液蚀变和各种断裂构造的成生演化及其空间变化规律。由于斑岩型铜矿的典型找矿标志就是热液蚀变分带,所以将热液蚀变分带作为主要的找矿标志来调查分析。

(5)地球物理找矿信息的获取着重采用何继善(1994)发明的伪随机三频激电技术测

量极化率和相对相位,这对探测硫化物矿化,特别是浸染状硫化物矿化是有效的。同时辅以可控源音频大地电磁测深(CSAMT),这对于探测大规模的构造和岩性单元变化是有参考价值的。

(6)本区各种导通性构造(断裂、裂隙和劈理等)十分发育(刘亮明等,2000)。这种导通性构造,不管是成矿期的,还是成矿后的,都有利于隐伏矿体外围形成大范围的扩散晕(刘亮明,1993;Liu Liangming and Peng Shenglin,2001),因此采用构造地球化学作为主要的地球化学探矿技术,以非规则网大范围组合采样,主要采取构造岩、蚀变构造岩和脉岩,分析其成矿元素的含量。

3.3 凤凰山矿田的隐伏矿床定位预测及验证效果

按照上述策略,我们开展了详细的地质调查、构造地球化学采样分析、三频激电测量和CSAMT测量。通过对主要的地质、地球物理和地球化学信息的数字成图和空间对比分析(图2),发现A区具有很好的综合找矿信息显示:北西向、南北向和近东西向构造的交汇处,靠近岩体的接触带,岩性主要为黄铁矿化、硅化和绢云母化很强的石英二长闪长斑岩,局部有钾长石化、夕卡岩化和铜矿化;具连续且强烈的三频激电极化率和相对相位异常;具有连续而强烈的Cu的构造地球化学异常,各种有利找矿信息的空间对应关系很好(图2)。据此,我们推测A区存在隐伏矿体,深部还可能存在斑岩型矿体。据CSAMT结果,推测隐伏深度在150 m以上。

为验证我们的预测分析,我们在图2所示位置设计了ZK1验证钻孔(直孔)。开孔处地表为正长斑岩脉,于191.92 m处始见工业矿体,于480 m之下见斑岩型矿体。终孔于672 m,见矿总视厚超过50 m,上为夕卡岩型铜矿、下为斑岩型铜矿(表1)。之后,A区内ZK1北部施工的第二个验证钻孔和在-300 m施工的探矿坑道都同样验证了我们的预测分析,表明了我们预测研究的有效性。目前铜陵有色金属集团公司正利用这一预测研究成果进行勘探,预计可延长矿山服务年限10年以上。

表1 ZK1钻孔见矿厚度、品位和矿体类型

Table 1 Thickness, Cu grade and types of ore bodies discovered in the ZK1 hole

见矿深度/m	191.95	223.93	356.81	365.74	480.65	487.26	500.82	517.16	522.71	537.46	591.74
矿体视厚/m	2.97	8.01	2.93	9.5	5.54	7.11	7.23	4.2	2.85	2.08	1.1
含铜品位/wt%	最高值	1.08	0.908	1.835	11.46	3.889	2.763	4.588	1.205	1.079	1.751
	平均值	0.6	0.495	0.965	6.52	1.17	1.0472	2.98	0.881	0.647	1.68
矿石类型	夕卡岩型					斑岩型					

综上所述,我们应用综合信息论在储量危急矿山开展深边找矿预测的主要哲学思想,实践文中提出的找矿预测的4条重要原则,在铜陵凤凰山铜矿的矿区外围深部找到了优质的隐伏的铜金矿体,并首次在该区找到了斑岩型铜金矿床。

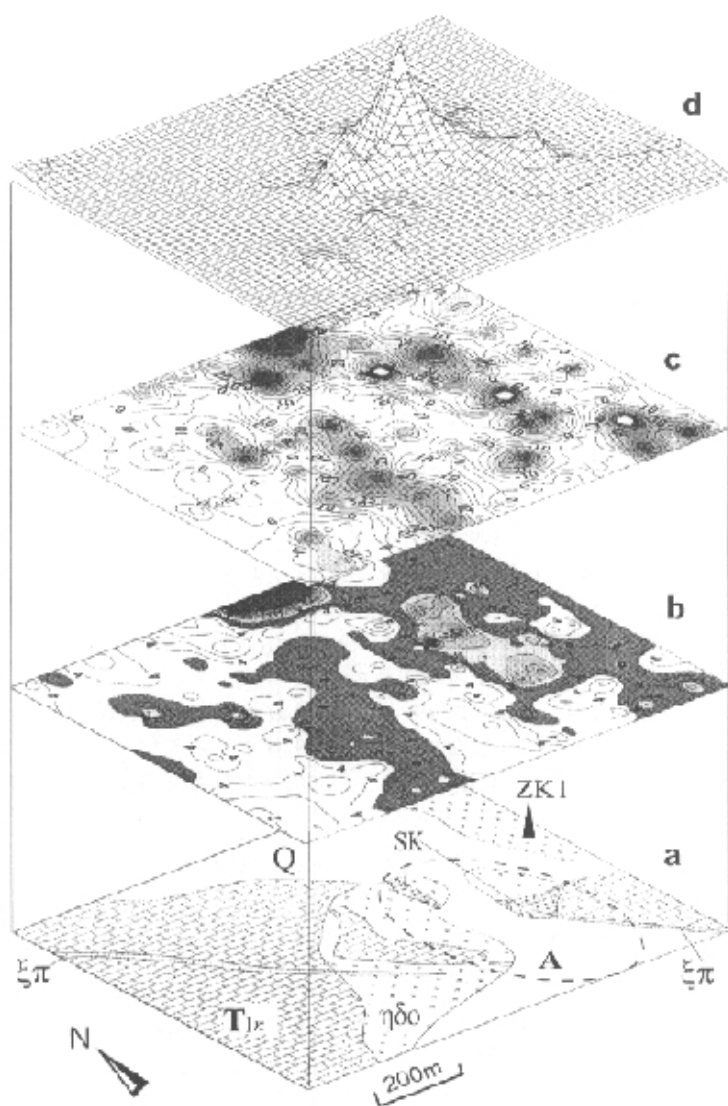


图 2 综合信息预测模型

a 为地质略图: Q, 第四系; T_{1n}, 下二叠统南盘河组大理岩; γδo, 燕山晚期的石英二长闪长岩; ζπ, 正长斑岩; SK, 夕卡岩; A, 隐伏矿床预测区; ZK1, 设计孔位; b 为二频激电似频散率等值线(%); c 为三频激电相对相位差等值线(mrad); d 为 Cu 的构造地球化学异常图

Fig. 2 A comprehensive information prediction model

参 考 文 献

- 陈国达. 1996. 地洼学说——活化构造及成矿理论体系概论. 长沙:中南工业大学出版社. 1—436.
- Chen Guoda. 1996. Diwa Theory——Outline on Activated Tectonics and Metallogenic Theoretic System. Changsha: Central South University of Technology Press. 1—436.
- 戴自希. 1998. 近年来世界金属矿产勘查的经验与启示. 国外地质科技, (1): 19—26.
- Dai Zixi. 1998. The experience and enlightenment from the worldwide metallic minerals exploration in recent years. Foreign Geological Science and Technology, (1): 19—26.
- 地质科技动态编辑部. 1996. 近年国外发现的几个重要矿床(续报之六)——兼述近年国外矿产勘查概况. 地质科技动态, (10): 1—29.
- Editorial Office of Development of Geological Science and Technology. 1996. The important overseas ore deposits discovered in recent years (6): Also introduction of general situation of recently overseas exploration. Development of Geological Science and Technology, (10): 1—29.
- 地质科技动态编辑部. 1999. 近年国外发现的几个重要矿床(续报之七)——兼述近年国外矿产勘查概况. 地质科技动态, (1): 1—28.
- Editorial Office of Development of Geological Science and Technology. 1996. The important overseas ore deposits discovered in recent years (7): Also introduction of general situation of recently overseas exploration. Development of Geological Science and Technology, (1): 1—28.
- 何继善. 1994. 伪随机三频激电法研究. 中国有色金属学报, 4(1): 1—10.
- He Jishan. 1994. Study on Pseudo-random triple-frequency induced polarization. Transaction of Nonferrous Metals Society of China, 4(1): 1—10.
- 刘亮明. 1993. 金家庄矿田断裂构造地球化学研究及隐伏矿床预测. 地质与勘探, 29(7): 42—46.
- Liu Liangming. 1993. Studies on tectonic-geochemistry of the metallogenic rifts and prognostication of concealed deposits in Jingjiazhuang Ore-Field. Geology and Prospecting, 29(7): 42—46.
- 刘亮明, 彭省临, 王有志, 邵拥军. 1999. 矿山企业持续发展的接替资源战略——兼论黄沙坪铅锌矿的深边部找矿前景. 矿产与地质, 13(5): 261—263.
- Liu Liangming, Peng Shenglin, Wang Youzhi and Shao Yongjun. 1999. Strategy of succeed resources for successive development of mine enterprises: Discussion on the exploration potential in the deeper and outer of Huangshaping Pb-Zn Mine. Mineral Resources and Geology, 13(5): 261—263.
- 刘亮明, 彭省临, 张光润. 2000. 铜陵凤凰山矿区隐伏矿床预测研究的主要策略及初步成效. 见: 戴塔根主编, 2000年湖南矿物岩石地球化学论丛. 长沙: 中南大学出版社. 91—94.
- Liu Liangming, Peng Shenglin and Zhang Guangrun. 2000. Major tactics and primary accomplishment for predicting hidden copper deposits in Fenghuangshan ore field, Tongling. in: Dai Tagen. ed. Mineralogy-Petrology and Geochemistry of Hunan 2000. Changsha: Central South University Press. 91—94.
- 毛景文, 华仁民, 李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. 矿床地质, 18(4): 291—299.
- Mao Jingwen, Hua Renmin and Li Xiaobo. 1999. A preliminary study of large-scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits. Mineral Deposits, 18(4): 291—299.
- 施俊法, 吴传璧. 2000. 巨型矿床勘查新战略——信息找矿. 矿床地质, 19(1): 88—95.
- Shi Junfa and Wu Chuanbi. 2000. A new exploration strategy for giant deposits——information exploration. Mineral Deposits, 19(1): 88—95.
- 吴传璧, 施俊法. 1999. 勘查战略和矿产勘查. 国外地质科技, (1): 28—35.
- Wu Chuanbi and Shi Junfa. 1999. Exploration strategy and mineral exploration. Foreign Geological Science and Technology, (1): 28—35.

- Chen Guoda. 1982. Polygenetic compound ore deposits and their origin in the context of regularities in crustal evolution. *Geotectonica et Metallogenia*, **6**(1):1—55.
- Iaznica P. 1997. Discovery of giant metal deposits and districts. In: Pei R F. ed. *Proc. 30th Int. Geol. Congr. Vol. 9, Energy and Mineral Resources for 21st Century, Geology of Mineral Economics*. Utrecht:VSP. 355—366.
- Liu Liangming and Peng Shenglin. 2001. Mechanical and chemical behavior of intergranular fluids in nonhydrostatically stressed rocks at low temperatures. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, **11**(4): 623—627.
- Liu Liangming, Peng Shenglin, Yang Qunzhou, Shao Yongjun and Wang Zhiqiang. 2001. Prediction of location of hidden ore deposits in aged ore fields: an example from Fenghuangshan ore field, Tongling, China. *Geotectonica et Metallogenia*, **25**(1—2): 132—139.
- Lowell J D. 1968. Geology of the Kalamazoo orebody, San Manuel district, Arizona. *Economic Geology*, **63**:645—654.
- Peng Shenglin, Liu Liangming and Lai Jianqing. 2001. Key role of metallogenic theory of polygenetic compound ore deposits in location prediction of hidden ore deposits in Diwa regions, China. *Geotectonica et Metallogenia*, **25**(1—2):99—105.
- Woodall R. 1994. Empiricism and concept in successful mineral exploration. *Australian Journal of Earth Science*, **41**:1—10.
- Xie X-J. 1999. Empirical prospecting, scientific exploration and information exploration. *Jour. Geochem. Explo.*, **11**: 229—248.

APPLICATION OF COMPREHENSIVE INFORMATIONISM PREDICTION FOR ORE PROSPECTING IN DEEPER AND OUTER OF MINES WITH CRITICAL RESERVES: AN EXAMPLE FROM THE FENGHUANGSHAN COPPER MINE, TONGLING

Liu Liangming Wang Zhiqiang Peng Shenglin Yang Qunzhou Shao Yongjun

(*Institute of Geology, Central South University, Changsha 410083*)

Abstract

How to effectively predicate and explore the potential ore bodies (deposits) in deeper and outer of the mines with critical resource reserves is a very complex project for mineral exploration. This paper demonstrated an important implication of comprehensive informationism in prediction and exploration in deeper and outer of mines by theory analysis and a lot of experienced examples from domestic and international exploration, and presented 4 important principles as follows: direction by innovative metallogeny theory; accurate deduction based on careful geological investigation; to acquire more indirect information by using new technology of geophysics and geochemistry; and resultful integration and analysis of various information by advanced computers and software. By application of these principles, the authors conducted comprehensive prediction and exploration in deeper and outer of the Fenghuangshan copper mine in Tongling district, Anhui Province. The prediction conclusion was tested by hole and channel exploration, and high quality hidden copper-gold ore bodies discovered. Furthermore, the porphyry copper ore bodies was firstly discovered in the area.

Key Words Mines with critical resources reserves, Prediction and exploration, Comprehensive informationism, The Fenghuangshan copper mine in Tongling